

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR

2.1 Bendungan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Sedangkan waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan). Bendungan memiliki fungsi yang sangat banyak dan vital, seperti untuk mencukupi kebutuhan air baku, pengendalian banjir, irigasi, konservasi, budidaya, pembangkit tenaga listrik, wisata, dan olah raga.

Pada hakikatnya eksistensi suatu bendungan telah dimulai sejak diadakannya kegiatan-kegiatan survei, perancangan, perencanaan teknis, pembangunan, operasi dan pemeliharaan sampai akhir dari umur efektif bendungan tersebut. Semakin mendalam pelaksanaan survei dan perancangan dikerjakan, maka semakin mudahnya pembuatan perencanaan teknisnya dan semakin mudah pula pelaksanaan pembangunannya, karena kemungkinan terjadinya modifikasi-modifikasi konstruksi akan semakin kecil. Tetapi sebaliknya apabila survei dan perancangannya kurang teliti dan kurang mendalam, kadang-kadang pilihan yang semula (pada tingkat perancangan) jatuh pada bendungan beton, dapat berubah menjadi bendungan urugan setelah tiba pada saat pembuatan perencanaan teknisnya, sehingga seluruh hasil survei dan perancangan yang semula, terpaksa ditinjau kembali. Bahkan pada beberapa kasus, kadang-kadang saat suatu bendungan dalam proses pelaksanaan pembangunannya, akibat ditemukannya kondisi-kondisi geologi yang kurang menguntungkan, terpaksa harus memindahkan sumbu bendungan yang telah ditetapkan atau memperbaiki kemiringan-kemiringan lereng bendungan, yang mengakibatkan volume urugan dapat berubah dengan sangat mencolok (Sosrodarsono dan Takeda, 2006). Contoh-contoh kejadian tersebut di atas, dapat mengakibatkan terlambatnya pelaksanaan pembangunan dan kadang-kadang bahkan

terpaksa harus ditinggalkan begitu saja, karena timbulnya tambahan pembiayaan yang melampaui batas persyaratan ekonomis (Sosrodarsono dan Takeda, 2006).

Dari sisi pembangunannya, bendungan disebut sebagai bangunan yang kompleks dan multi-dimensi karena ditinjau dari banyak aspek yang harus dipakai, diperhitungkan, dan dianalisis mulai dari kebijakan, visi, misi, tujuan, kelembagaan, rekayasa dan manajemen. Demikian pula hal tersebut mencakup proses pembangunan bendungan mulai dari studi, perencanaan, pelaksanaan serta operasi pemeliharaan. Aspek-aspek tersebut diantaranya: aspek teknis (rekayasa), ekonomi, sosial, budaya, lingkungan, hukum, kelembagaan dan bahkan politik.

Dalam Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan (Balai Keamanan Bendungan, 2003) disebutkan beberapa kriteria dasar pembangunan bendungan, diantaranya: tipe bendungan, survei dan investigasi, hidrologi, beban, desain pondasi, bendungan urugan tanah, bendungan urugan batu, bangunan pelimpah, instrumentasi, dan pekerjaan pengalihan aliran sungai. Kriteria tersebut dominan hanya dari sisi rekayasa.

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan, aspek-aspek yang ada dalam pedoman tersebut adalah: aspek teknis, lingkungan, sosial budaya, dan ekonomi. Aspek teknis meliputi: kajian neraca air ketersediaan dan pemanfaatan sumberdaya air, kajian manfaat bendungan, studi hidrologi, survei topografi, investigasi geologi, material konstruksi, studi gempa, dan *basic design*. Sedangkan aspek lingkungan meliputi: kebijakan pemanfaatan air, sedimentasi, kualitas air, kawasan hutan, flora dan fauna. Aspek sosial budaya meliputi: kebijakan tata ruang, dukungan masyarakat terdampak pembangunan bendungan, pengadaan tanah, infrastruktur dan fasilitas publik, situs sejarah dan budaya, serta pertemuan konsultasi masyarakat. Aspek ekonomi meliputi: tujuan analisis ekonomi, analisis kelayakan ekonomi pembangunan bendungan, analisis sensitivitas, komposisi biaya, dan manfaat.

Berdasarkan *United States Bureau of Reclamation* (USBR 1987), pembangunan bendungan ditinjau berdasarkan tiga aspek utama yaitu: aspek perencanaan proyek, aspek ekologi dan lingkungan, serta aspek teknis dan rekayasa. Aspek perencanaan proyek

meliputi tujuan pembangunan bendungan dan studi proyek pembangunan bendungan yang berisi tentang uji kelayakan, tahapan studi dan investigasi, pengembangan rencana umum, desain struktur dan persiapan perkiraan biaya. Adapun aspek ekologi dan lingkungan menguraikan tentang isu-isu lingkungan, pertimbangan perikanan dan margasatwa, kualitas air, pertimbangan bangunan-bangunan bersejarah, dan pertimbangan rekreasi terhadap pembangunan bendungan di Indonesia. Dalam USBR 1987, diuraikan aspek teknis dan rekayasa pembangunan bendungan yang meliputi: studi banjir, pemilihan jenis bendungan, pondasi dan bahan konstruksi, pengisian inti bendungan, batuan pengisi bendungan, bendungan beton gravitasi, *spillway*, pekerjaan *outlet*, pengalihan aliran air sungai selama pembangunan, dan perawatan serta operasional bendungan.

2.2 Kriteria-Kriteria yang Menentukan Pembangunan Bendungan

Pada proses pembangunan bendungan, tentunya akan sangat terkait dengan kriteria-kriteria yang terkait dengan pembangunannya. Kriteria-kriteria ini dapat bersifat teknik dan non teknik. Emiroglu (2008) mengatakan bahwa pemilihan jenis bendungan terbaik untuk lokasi tertentu memerlukan pertimbangan menyeluruh mengenai karakteristik masing-masing jenis, karena terkait dengan fitur fisik lokasi (geologi) dan adaptasi terhadap tujuan bendungan yang seharusnya dilayani, keamanan, ekonomi, serta keterbatasan terkait lainnya. Pendapat tersebut dikuatkan juga dengan pernyataan Minatour et al. (2015), bahwa pemilihan lokasi bendungan yang sesuai adalah salah satu masalah yang terkait dengan pengelolaan sumber daya air, dan tergantung pada seperangkat/banyak kriteria/atribut kualitatif dan kuantitatif, hal tersebut dikarenakan: (1). Beberapa kriteria/atribut bersifat tidak terukur/kualitatif yang kompleks; dan (2). Satu kriteria memiliki banyak informasi (contoh: kriteria geologi memiliki informasi yang kompleks).

2.3 Penentuan Prioritas Bendungan

Banyak sekali kriteria yang terkait dengan penentuan pembangunan bendungan jika akan dibangun sebuah bendungan. Penelitian terdahulu mengenai kriteria-kriteria pembangunan bendungan sudah dilakukan di berbagai lokasi. Contoh beberapa penelitian

tersebut adalah: Ledec & Quentero, (2003), membahas tentang kriteria tipe bendungan terkait dengan efek lingkungan, Emamgholi et al. (2007) melakukan penelitian di Iran terkait penentuan lokasi bendungan kecil, Park et al. (2015) di Korea Selatan, dan di Indonesia Anjasmoro et al. (2015 dan 2017) melakukan penelitian terkait penentuan lokasi bendungan kecil di Kabupaten Semarang. Dai (2016) juga pernah melakukan hal yang sama dengan kriteria berbeda di Bortala, China.

Untuk menentukan kriteria dan sub-kriteria yang akan digunakan dalam penelitian ini, maka dilakukan inventarisasi semua kriteria dan sub-kriteria yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu sebagai daftar panjang (*longlist*) kriteria. Daftar panjang kriteria dan sub-kriteria ini adalah merupakan hasil kajian terhadap penelitian terdahulu. Hasil penelusuran pustaka terdahulu beserta kriteria yang digunakan dalam prioritas pembangunan bendungan dapat dilihat pada

Tabel 2-1.

Sehingga hasil inventarisasi kriteria dan sub-kriteria dari penelitian terdahulu terkait dengan penentuan pembangunan bendungan dapat diurutkan sebagai berikut:

1. Kriteria Teknis

Kriteria teknis meliputi;

1) Topografi

- (1) Tutupan vegetasi pada area genangan
- (2) Kemiringan lahan
- (3) Volume material timbunan
- (4) Luas area yang dibebaskan
- (5) Kondisi sungai di lokasi rencana
- (6) Bentuk lembah
- (7) Ketersediaan membangun jalan masuk menuju lokasi bendungan
- (8) Kondisi jurang dengan dinding curam dan sulitnya transportasi material tanah ke lokasi bendungan
- (9) Kondisi lembah dalam mendukung pengangkutan material tanah
- (10) Perubahan penampang lembah
- (11) Perubahan kemiringan abutmen

- (12) Gradien abutmen lembah
- (13) lebar bawah lembah
- 2) Lingkungan
 - (1) Ekologi lingkungan dan kualitas air
 - (2) Keberagaman spesies ikan dan endemis
 - (3) Habitat alami kritis yang terpengaruh
- 3) Geoteknik
- 4) Geologi
 - (1) Jenis tanah dasar pondasi
 - (2) Penggalian pondasi
- 5) Hidrologi
 - (1) Debit rencana sungai atau PMF
 - (2) Hujan
 - (3) Volume tampungan efektif
 - (4) Volume sedimen tahunan
 - (5) Luas daerah tangkapan air
 - (6) Luas permukaan reservoir
 - (7) Waktu retensi air di reservoir
 - (8) Banjir biomassa
 - (9) Panjang tampungan sungai
 - (10) Panjang alur sungai kering
 - (11) Jumlah hilir anak sungai
 - (12) Rejim aliran sungai
 - (13) Efek air yang agresif pada bendungan
 - (14) Perbedaan antara *headwater* & *tailwater*
 - (15) Kemungkinan terjadinya aksi gelombang
 - (16) Kemungkinan terjadinya *ice action*
 - (17) Kesederhanaan pengalihan sungai
 - (18) Rata-rata evaporasi tahunan
 - (19) Tingkat infiltrasi tanah
 - (20) Tinggi bendungan

- (21) Ukuran dan lokasi bangunan pelimpah
- (22) Bentuk atau penampilan bendungan
- (23) Posisi struktur bangunan pengambilan
- (24) Volume air tahunan yang melewati penampang sungai utama
- 6) Lingkungan
 - (4) Ekologi lingkungan dan kualitas air
 - (5) Keberagaman spesies ikan dan endemis
 - (6) Habitat alami kritis yang terpengaruh
- 2. Kriteria Non Teknis
 - 1) Efektifitas
 - (1) Lama operasi atau masa layan
 - (2) Harga air per-m³
 - (3) Kecepatan pembangunan
 - (4) Ketersedian material konstruksi
 - (5) Kondisi pada tahap pembangunan
 - (6) Iklim dan waktu yang tersedia untuk pembangunan
 - (7) Pengetahuan dan keberanian para insinyur
 - (8) Tidak ada personil dengan keterampilan tertentu
 - 2) Aksesibilitas
 - (1) Jarak material konstuksi
 - (2) Jarak akses ke bendungan
 - (3) Akses ke material dan fasilitas
 - 3) Sosial
 - (1) Penduduk yang harus dievakuasi atau memerlukan pemukiman kembali
 - (2) Status lahan atau tanah
 - (3) Respon masyarakat
 - (4) Infrastruktur yang harus diganti atau dipindahkan
 - 4) Ekonomi
 - (1) Biaya
 - a) Biaya pembebasan lahan
 - b) Biaya konstruksi

- c) Biaya operasi dan pemeliharaan
- (2) Manfaat
 - a) Luas cakupan area irigasi
 - b) Manfaat air baku
 - c) Fungsi reservoir atau tampungan
 - d) Kekayaan budaya yang terpengaruh
 - e) Perkembangan ekonomi atau kondisi ekonomi negara
 - f) Tujuan penggunaan air di reservoir dan hubungan manfaat-biaya
- 5) Keamanan
 - (1) Kemungkinan stratifikasi reservoir
 - (2) Kemungkinan banjir bandang selama masa konstruksi
 - (3) Bahaya perang dan sabotase
 - (4) Bahaya dari tubuh bendungan dan reservoir
 - (5) Kemungkinan keruntuhan bendungan
 - (6) Seismisitas atau gempa bumi
 - (7) Efek dari gaya angkat bawah bendungan
 - (8) Kekurangan air untuk pembangunan
- 6) Politik
 - (1) Kontrak, standar, dan keputusan konservatif untuk setiap negara

Kriteria dan sub-kriteria yang tersebut diatas yang akan menjadi pertimbangan untuk penentuan pembangunan bendungan, selanjutnya perlu metode untuk menilai faktor pengaruh masing-masing kriteria terhadap hasil akhirnya. Berdasarkan semua penelitian terdahulu dapat diketahui bahwa hampir semua peneliti menggunakan kriteria utama geologi sebagai bahan pertimbangan dalam penentuan prioritas (Emiroglu, 2008; Park et al., 2015; Minatour et al., 2015; Abushandi & Alatawi, 2015; Dai, 2016).

Kriteria adalah ukuran yang menjadi dasar penilaian atau penetapan sesuatu (Kamus Besar Bahasa Indonesia). Kriteria biasanya berupa ukuran-ukuran, aturan-aturan, atau standar yang digunakan dalam pengambilan keputusan. Kriteria tersebut selanjutnya dijadikan acuan dalam metode pengambilan keputusan untuk menetapkan alternatif terbaik dari sejumlah alternatif (Kusumadewi, 2007).

Tabel 2-1 Kriteria dan Sub Kriteria yang Digunakan untuk Prioritasi Pembangunan Bendungan Penelitian Terdahulu

KRITERIA PENGARUH	SUB KRITERIA	Ledec & Quentero (2003) Lokasi: -	Emamgholi et al, (2007) Lokasi: Iran	Emiroglu (2008) Lokasi: -	Yasser et al, (2013) Lokasi: Iran Barat	Park et al, (2015) Lokasi: South Korea	Yasser et al, (2015) Lokasi: Iran Barat	Abushandi & Alatawi, (2015) Lokasi: Saudi Arabia	Anjasmoro et al, (2015) Loaksi: Kab. Semarang	Dai, (2016) Lokasi: Bortala, China	Anjasmoro et al, (2017) Lokasi: Kab. Semarang
Topografi	Tutupan vegetasi pada area genangan		✓			✓		✓	✓	✓	✓
	Kemiringan lahan dan stabilitas abutmen		✓			✓		✓	✓	✓	✓
	Volume material timbunan								✓		✓
	Luas area yang dibebaskan								✓		✓
	Kondisi sungai di lokasi rencana			✓							
	Bentuk lembah			✓							
	Kesederhanaan membangun jalan menuju lokasi bendungan			✓							
	Keberadaan jurang dengan dinding curam dan sulitnya transportasi material tanah ke lokasi bendungan			✓							
	Kemungkinan lembah dalam mendukung pengangkutan material tanah			✓							
	Perubahan penampang lembah			✓							
	Perubahan kemiringan abutmen			✓							

Tabel 2-1 Kriteria dan Sub Kriteria yang Digunakan untuk Prioritasi Pembangunan Bendungan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

KRITERIA PENGARUH	SUB KRITERIA	Ledec & Quintero (2003) Lokasi: -	Emamgholi et al, (2007) Lokasi: Iran	Emiroglu (2008) Lokasi: -	Yasser et al, (2013) Lokasi: Iran Barat	Park et al, (2015) Lokasi: South Korea	Yasser et al, (2015) Lokasi: Iran Barat	Abushandi & Alatawi, (2015) Lokasi: Saudi Arabia	Anjasmoro et al, (2016) Loaksi: Kab. Semarang	Dai, (2016) Lokasi: Bortala, China	Anjasmoro et al, (2017) Lokasi: Kab. Semarang
	Gradien abutmen lembah			✓							
	Lebar bawah lembah			✓							
Lingkungan	Ekologi lingkungan dan kualitas air	✓		✓		✓					
	Keberagaman spesies ikan & endemis	✓			Faktor Lingkungan		Faktor Lingkungan				
	Habitat alami kritis yang terpengaruh	✓									
Geologi	Jenis tanah dasar pondasi			✓		✓		✓	✓	✓	✓
	Penggalian pondasi			✓	Geologi & Geoteknik		Geologi & Geoteknik				
Geoteknik				✓							
Hidrologi	Debit rencana sungai/PMF			✓	✓		✓		✓		✓
	Hujan									✓	
	Volume tampungan efektif				✓		✓		✓		✓
	Volume sedimen tahunan		✓		✓		✓				
	Luas daerah tangkapan air								✓		✓
	Luas permukaan reservoir	✓									

Tabel 2-1 Kriteria dan Sub Kriteria yang Digunakan untuk Prioritasi Pembangunan Bendungan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

KRITERIA PENGARUH	SUB KRITERIA	Ledec & Quentero (2003) Lokasi: -	Emamgholi et al, (2007) Lokasi: Iran	Emiroglu (2008) Lokasi: -	Yasser et al, (2013) Lokasi: Iran Barat	Park et al, (2015) Lokasi: South Korea	Yasser et al, (2015) Lokasi: Iran Barat	Abushandi & Alatawi, (2015) Lokasi: Saudi Arabia	Anjasmoro et al, (2016) Loaksi: Kab. Semarang	Dai, (2016) Lokasi: Bortala, China	Anjasmoro et al, (2017) Lokasi: Kab. Semarang
	Waktu retensi air di reservoir	✓									
	Banjir biomassa	✓									
	Panjang tampungan sungai	✓									
	Panjang alur sungai kering	✓									
	Jumlah hilir anak sungai	✓									
	Rejim aliran sungai			✓		✓					
	Efek air yang agresif pada bendungan		✓								
	Perbedaan antara <i>headwater</i> & <i>tailwater</i>		✓								
	Kemungkinan terjadinya aksi gelombang		✓								
	Kemungkinan terjadinya <i>ice action</i>		✓								
	Kesederhanaan pengalihan sungai		✓			✓					
	Rata-rata evaporasi tahunan			✓		✓					
	Tingkat infiltrasi tanah							✓			
	Tinggi bendungan		✓								
	Ukuran dan lokasi pelimpah		✓								
	Bentuk/penampilan bendungan		✓								

Tabel 2-1 Kriteria dan Sub Kriteria yang Digunakan untuk Prioritasi Pembangunan Bendungan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

KRITERIA PENGARUH	SUB KRITERIA	Ledec & Quentero (2003) Lokasi: -	Emamgholi et al, (2007) Lokasi: Iran	Emiroglu (2008) Lokasi: -	Yasser et al, (2013) Lokasi: Iran Barat	Park et al, (2015) Lokasi: South Korea	Yasser et al, (2015) Lokasi: Iran Barat	Abushandi & Alatawi, (2015) Lokasi: Saudi Arabia	Anjasmoro et al, (2016) Loaksi: Kab. Semarang	Dai, (2016) Lokasi: Bortala, China	Anjasmoro et al, (2017) Lokasi: Kab. Semarang
	Posisi struktur pengambilan		√								
	Volume air tahunan yang melewati penampang sungai utama				√		√				
Efektifitas	Lama operasi/masa layan	√							√		√
	Harga air /m3								√		√
	Kecepatan pembangunan		√								
	Ketersediaan material konstruksi		√								
	Kondisi pada saat tahap pembangunan		√								
	Iklim dan waktu yang tersedai untuk pembangunan		√								
	Pengetahuan dan keberanian para insinyur		√								
	Tidak adanya personil denganketerampilan tertentu		√								
Aksesibilitas	Jarak quarry	√							√		√
	Jalan akses ke bendungan	√	√						√		√
	Akses ke material dan fasilitas		√								

Tabel 2-1 Kriteria dan Sub Kriteria yang Digunakan untuk Prioritasi Pembangunan Bendungan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

KRITERIA PENGARUH	SUB KRITERIA	Ledec & Quentero (2003) Lokasi: -	Emamgholi et al, (2007) Lokasi: Iran	Emiroglu (2008) Lokasi: -	Yasser et al, (2013) Lokasi: Iran Barat	Park et al, (2015) Lokasi: South Korea	Yasser et al, (2015) Lokasi: Iran Barat	Abushandi & Alatawi, (2015) Lokasi: Saudi Arabia	Anjasmoro et al, (2016) Loaksi: Kab. Semarang	Dai, (2016) Lokasi: Bortala, China	Anjasmoro et al, (2017) Lokasi: Kab. Semarang
Sosial	Penduduk yang harus dievakuasi/memerlukan pemukiman kembali	√							√		√
	Status lahan/tanah				Faktor Sosial		Faktor Sosial		√		√
	Respon masyarakat		√	√					√		√
	Infrastruktur yang harus diganti/dipindahkan								√		√
Ekonomi/ Biaya	Biaya pembebasan lahan								√		√
	Biaya konstruksi		Faktor Biaya	Faktor Biaya			Faktor Biaya		√		√
	Biaya operasi dan pemeliharaan								√		√
Manfaat	Luas cakupan area irigasi								√		√
	Manfaat air baku								√		√
	Kesejahteraan masyarakat dan culture		√								
	Fungsi reservoir			√							
	Kekayaan budaya yang terpengaruh	√									
	Perkembangan ekonomi/kondisi ekonomi negara			√	√		√				
	Tujuan penggunaan air di reservoir dan hubungan manfaat-biaya			√							

Tabel 2-1 Kriteria dan Sub Kriteria yang Digunakan untuk Prioritasi Pembangunan Bendungan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

KRITERIA PENGARUH	SUB KRITERIA	Ledec & Quentero (2003) Lokasi: -	Emamgholi et al, (2007) Lokasi: Iran	Emiroglu (2008) Lokasi: -	Yasser et al, (2013) Lokasi: Iran Barat	Park et al, (2015) Lokasi: South Korea	Yasser et al, (2015) Lokasi: Iran Barat	Abushandi & Alatawi, (2015) Lokasi: Saudi Arabia	Anjasmoro et al, (2016) Loaksi: Kab. Semarang	Dai, (2016) Lokasi: Bortala, China	Anjasmoro et al, (2017) Lokasi: Kab. Semarang
Keamanan			√								
Keamanan/ Bencana	Kemungkinan stratifikasi reservoir	√									
	Kemungkinan banjir bandang selama masa konstruksi		√								
	Bahaya perang dan sabotase		√								
	Bahaya dari tubuh bendungan dan reservoir				√		√				
	Kemungkinan keruntuhan bendungan				√		√				
	Seismisitas/gempa bumi		√								
	Efek dari gaya angkat di bawah bendungan		√								
	Kekurangan air untuk pembangunan		√								
Politik					√		√				
	Kontrak, standar, dan keputusan konservatif untuk setiap negara		√								

2.4 *Multi Criteria Decision Making (MCDM) dengan Analytical Network Process (ANP)*

MCDM atau *Multiple-Criteria-Decision-Analysis* (MCDA) adalah sub-disiplin penelitian operasi yang secara eksplisit mengevaluasi beberapa kriteria yang bertentangan dalam pengambilan keputusan. Kusumadewi et al. (2006) menyatakan bahwa MCDM sebagai suatu metode pengambilan keputusan untuk menetapkan alternatif terbaik dari sejumlah alternatif berdasarkan beberapa kriteria tertentu. Menurut Kahraman (2008), keuntungan dari metode ini adalah dapat memperhitungkan dampak baik finansial maupun non finansial (terukur dan tidak terukur). Demikian juga dengan Kornyshova & Salinesi, (2007), beberapa model yang termasuk dalam MCDM yang populer digunakan saat ini adalah: *Scoring Model*, *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, *Analytic Network Process (ANP)*, *Utility Model*, *Out Ranking Method*, *Technique for Others Reference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*, dan lainnya.

Penentuan pembangunan bendungan akan terkait dengan banyak kriteria dalam sistem pengambilan keputusan pembangunan bendungan, beberapa kriteria seringkali tidak saling mendukung, saling konflik serta saling melemahkan, maka perlu dikaji metode yang akan digunakan. MCDM dalam hal ini dapat digunakan sebagai alat bantu untuk memecahkan permasalahan ini.

Dalam penelitian ini akan mengkaji metode multi kriteria untuk menentukan prioritas pembangunan bendungan menggunakan model ANP. Metode ini menjadi fokus penelitian karena beberapa kelebihan yang akan diuraikan pada bagian selanjutnya. Metode yang telah banyak digunakan adalah metode AHP seperti dikemukakan oleh beberapa *reviewer* seperti (Toloie-eshlaghy (2011); Kabir et al. (2014) Mardani et al. (2015); De Brito & Evers (2016); Ishizaka & Labib, (2011); Velasquez & Hester (2013)). Metode AHP dan ANP merupakan metode dengan pengembangan yang sama (Andreichicova & Andreichicov (2013); Görener (2012)).

Analytic Network Process (ANP) juga merupakan salah satu metode yang digunakan dalam sistem pengambilan keputusan. Metode ini merupakan perkembangan dari metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Kelebihan ANP adalah merupakan metode pengambilan keputusan yang prosesnya cukup sederhana namun dapat digunakan

untuk masalah yang kompleks. Kesederhanaan dari metode ANP menjadikan ANP sebagai metode yang lebih umum dan lebih mudah diaplikasikan untuk studi kualitatif yang beragam, seperti pengambilan keputusan, peramalan, evaluasi, pemetaan dan lain sebagainya (Tanjung & Devi, 2013). ANP juga dapat dijadikan alternatif untuk menyelesaikan masalah yang melibatkan banyak kriteria yang saling berkaitan atau berpengaruh dalam pengambilan keputusan. Metode ini menggunakan pendekatan jaringan tanpa harus menetapkan level seperti pada hierarki yang digunakan dalam AHP.

ANP adalah teori umum pengukuran relatif yang digunakan untuk menurunkan rasio prioritas komposit dari skala rasio individu yang mencerminkan pengukuran relatif dari pengaruh elemen-elemen yang saling berinteraksi berkenaan dengan kriteria kontrol (Saaty, 2005). ANP merupakan teori matematika yang memungkinkan seseorang untuk melakukan *dependence* dan *feedback* secara sistematis yang dapat menangkap dan mengkombinasikan kriteria- kriteria *tangible* dan *intangibile* (Azis, 2003).

Dalam konsep AHP, terdapat 7 (tujuh) pilar utama, yaitu: (1) skala rasio, (2) perbandingan berpasangan, (3) kondisi-kondisi untuk sensitivitas dari vektor eigen, (4) homogenitas dan klusterisasi, (5) sintesis, (6) mempertahankan dan membalikkan urutan, dan (7) pertimbangan kelompok. Ketujuh pilar AHP inilah yang berfungsi sebagai titik awal untuk ANP. ANP memberikan kerangka umum untuk menangani dengan keputusan tanpa membuat asumsi tentang kebebasan elemen-elemen tingkat yang lebih tinggi (Saaty, 2005).

Pembobotan dengan ANP membutuhkan model yang merepresentasikan saling keterkaitan antar kriteria dan sub-kriteria yang dimilikinya. Ada 2 (dua) kontrol yang perlu diperhatikan di dalam memodelkan sistem yang hendak diketahui bobotnya. Kontrol pertama adalah kontrol hierarki yang menunjukkan keterkaitan kriteria dan sub-kriterianya. Pada kontrol ini tidak membutuhkan struktur hierarki seperti pada metode AHP. Kontrol lainnya adalah kontrol keterkaitan yang menunjukkan adanya saling keterkaitan antar kriteria atau *cluster* (Saaty, 1990).

2.4.1 Expert judgement (Pairwise Comparison) Antar Kriteria

Pairwise comparison merupakan teknik yang telah digunakan secara luas untuk mengolah pengetahuan subjektif dan objektif tentang kriteria kualitatif dan kuantitatif untuk membantu pengambilan keputusan. Pada ANP *pairwise comparison* dikenal dengan *pairwise comparison matriks* yang menghubungkan nilai preferensi dari relasi antar kriteria dalam sebuah matriks. Satu kriteria bisa dipengaruhi banyak kriteria dan untuk itu *pairwise* dibuat dalam menentukan kriteria mana yang lebih berpengaruh. Kriteria yang lebih berpengaruh direpresentasikan dengan rasio seperti yang digunakan pada metode Saaty (Saaty 1977 dalam (Bernasconi, Choirat, & Seri, 2010)), skala geometris (Lootsma 1989) dan skala logaritmik (Ishizaka et al. 2010). Pengetahuan yang direpresentasikan dalam matriks bisa menjadi inkonsisten karena keterbatasan ahli. Keterbatasan ahli terjadi karena adanya parameter-parameter yang tidak nampak, namun juga mempengaruhi kriteria yang berhubungan. Beberapa parameter tidak bisa diukur secara kualitatif dan kuantitatif. Selain itu ada faktor-faktor lain yang tidak secara teknis mempengaruhi kriteria. Pembobotan dari kriteria dipengaruhi seberapa penting kriteria dan peringkat dari alternatif. Pembobotan akan mempengaruhi variabel dari prioritas kriteria. Tingkat prioritas kemudian diturunkan dari matriks-matriks perbandingan kriteria untuk menjadi faktor penilaian. Faktor penilaian akan memeringkati alternatif mana yang memiliki koefisien parameter tertinggi sampai terendah (Kou, Ergu, Lin, Chen, & Lin, 2016).

2.4.2 Skala Pengukuran

Beberapa penelitian dilakukan untuk membangun skala kepentingan kriteria. Fulop et al (2010) mengusulkan penggunaan skala 1 – 3 untuk *pairwise comparison*. Fulop membuktikan bahwa secara matematis skala yang sedikit akan lebih baik daripada skala yang lebih besar. Kim et al. (2010) menganalisis konsep konsistensi menggunakan pendekatan bahasa. Bahasa mempunyai skala tersendiri untuk menentukan hubungan antar parameter. Saaty menggunakan 9 (sembilan) skala untuk membuat ANP karena manusia tidak baik dalam membedakan 7 (tujuh) objek dengan selisih variasi sekitar 2 (dua) objek (Dong, Hong, Xu, & Yu, 2013). Nilai dan definisi pendapat kualitatif dari skala perbandingan Saaty dapat dilihat pada

Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Pemberian Nilai Pada Perbandingan Berpasangan (sumber: Saaty, 1990)

Tingkat kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Sama penting	Kedua elemen sama pentingnya
3	Sedikit lebih penting	Elemen yang satu sedikit lebih penting dari pada elemen yang lainnya.
5	Cukup penting	Pengalaman dan keputusan menunjukkan kekuasaan atas satu aktifitas lebih dari yang lain.
7	Sangat penting	Pengalaman dan keputusan menunjukkan kesukaan yang kuat atas satu aktifitas lebih dari yang lain.
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen mutlak lebih disukai dibandingkan dengan pasangannya, pada tingkat keyakinan tertinggi.
2,4,6,8	Nilai antara	Nilai-nilai antara dua pertimbangan yang berdekatan.
Kebalikan a_{ij} = 1/a_{ji}	Jika untuk elemen I mempunyai nilai perbandingan 1 sampai 9 apabila dibandingkan dengan elemen j, maka j mempunyai nilai kebalikannya jika dibandingkan dengan i.	

Berdasarkan bahasa akan muncul kriteria baru yaitu analisis kesensitifan. Analisis kesensitifan menggunakan *range* positif dan negatif sebagai pengali dari skala kriteria. Satu kriteria bisa mempengaruhi kriteria lain namun tidak berlaku sebaliknya. Persamaan (1) berikut merupakan fungsi keanggotaan dari skala kriteria yang dipakai oleh Saaty.

$$f^{(Saaty)}(s) = \begin{cases} \Delta^{-1}(s) - 7 & s \geq s_8, \\ \frac{1}{9 - \Delta^{-1}(s)} & s < s_8. \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

Saaty menggunakan *Numerical Pairwise Comparison Matrix* (NPCM) yaitu $A = (a_{ij})_{n \times n}$. Jika $a_{ij} > 0$ dan $a_{ij} \times a_{ji} = 1$ untuk i dan $j = 1, 2, \dots, n$. NPCM untuk $A = (a_{ij})_{n \times n}$ akan bernilai konsisten bila $a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij}$ untuk $i, j, k = 1, 2, \dots, n$. Pada NPCM ada *pairwise* yang lebih condong ke salah 1 (satu) kriteria. Kriteria yang lebih mempengaruhi akan bernilai berapa kali dari kriteria yang diperbandingkan, sedangkan kriteria yang kurang mempengaruhi akan bernilai seperberapa kali dari kriteria yang diperbandingkan.

2.4.3 Indeks Konsistensi

Relasi di antara kriteria pada perbandingan *pairwise* dapat berupa perkalian, penjumlahan, atau *fuzzy*. Apabila jenis relasi berbeda, maka konsistensi yang muncul juga berbeda, dan beberapa peneliti telah melakukan pengukuran konsistensi dari PCM. Matriks PCM yang diisi dengan perbandingan *pairwise* a_{ij} akan disebut konsisten bila transitifitas dan resiproksitas diperhatikan.

2.4.3.1 Aturan Transitivitas

Aturan transitivitas digunakan untuk mengukur konsistensi jawaban dari *expert* terhadap berbagai pertanyaan yang saling berhubungan 1 (satu) dengan yang lain. Aturan ini diterjemahkan dengan model logika matematik sebagai berikut:

$$a_{ij} = a_{ik} \times a_{kj} \text{ dimana } a_{ij} \text{ merupakan perbandingan dari } i \text{ dengan } j \dots\dots\dots(2)$$

Sebagai contoh implementasi aturan transitivitas adalah bila ada asumsi bahwa seseorang menyukai apel 2 (dua) kali lebih daripada jeruk maka ($a_{ij} = 2$) dan bila menyukai jeruk 3 (tiga) kali lebih dari pisang maka ($a_{23} = 3$), serta bila seseorang menyukai apel 6 (enam) kali lebih dari pisang ($a_{13} = 6$), maka nilai transitifitas terpenuhi. Nilai transitifitas ini bisa dipengaruhi faktor internal yang belum diketahui, oleh karena itu di ANP nilai transitifitas dipengaruhi oleh penilaian PCM dari sebuah kriteria yang dipengaruhi oleh kriteria internal dalam 1 (satu) faktor.

2.4.3.2 Aturan Resiproksitas

Aturan resiproksitas merupakan aturan untuk membentuk nilai kebalikan dari sebuah matriks. Dengan aturan bahwa jika diketahui sebuah matriks a_{ij} maka $1/a_{ji}$ merupakan alternatif dari matriks. Sebagai contoh jika seseorang menyukai apel 2 (dua) kali lebih dari jeruk ($a_{ij} = 2$), maka bisa dianggap menyukai jeruk setengah dari apel ($a_{ji} = 1/2$). Berikut merupakan matriks untuk preferensi dari masing-masing kriteria.

$$A = \begin{bmatrix} p_1/p_1 & \dots & p_1/p_j & \dots & p_1/p_n \\ \dots & 1 & \dots & \dots & \dots \\ p_i/p_1 & \dots & 1 & \dots & p_i/p_n \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ p_n/p_1 & \dots & p_n/p_j & \dots & p_n/p_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

Bila aturan matriks dipenuhi maka $a_{ij} = p_i / p_j$ dimana p_i adalah prioritas dari alternatif i .

Pengecekan konsistensi dari prioritas ditentukan oleh *threshold*. *Threshold* yang dikembangkan oleh Saaty adalah menggunakan *consistency index* (CI), dimana dihubungkan dengan nilai *eigenvalue*. *Eigenvalue* adalah sebuah bilangan skalar dan *eigenvektor* adalah sebuah matriks yang keduanya dapat menjelaskan suatu matriks.

Eigenvalue akan mendefinisikan arah dan jarak dari sebuah titik dan *eigenvektor* merupakan sebuah perumusan garis untuk menentukan ke mana arah dan jarak suatu titik bila ditarik dari matriks yang dipunyai. Matriks yang dipunyai harus merupakan sebuah matriks bujur sangkar dengan ukuran $n \times n$. Prioritas bisa dibentuk menjadi sebuah matriks bujur sangkar karena perbandingan *pairwise* selalu bersifat berpasangan dan bisa terjadi bila minimal ada 2 (dua) kriteria lain yang diperbandingkan. Apabila hanya dipengaruhi kriteria maka di ANP bisa dipenuhi dengan memiliki relasi terhadap kriteria itu sendiri. Matriks bujur sangkar memiliki acuan matriks diagonal yang menjadi pemisah preferensi. Tidak semua matriks bujur sangkar memiliki *eigenvalue* dan *eigenvektor*. Oleh karena itu perlu dilakukan beberapa proses penurunan prioritas pada proses ANP.

2.4.4 Agregasi

Langkah terakhir dari sintesis prioritas pada semua kriteria adalah untuk menentukan prioritas global. ANP sebelumnya menggunakan agregasi penjumlahan dengan normalisasi dari penjumlahan dari prioritas yang ada. Tipe normalisasi seperti ini disebut mode distributif, dapat ditulis dalam:

$$P_i = \sum_j w_j \cdot p_{ij} \dots\dots\dots(4)$$

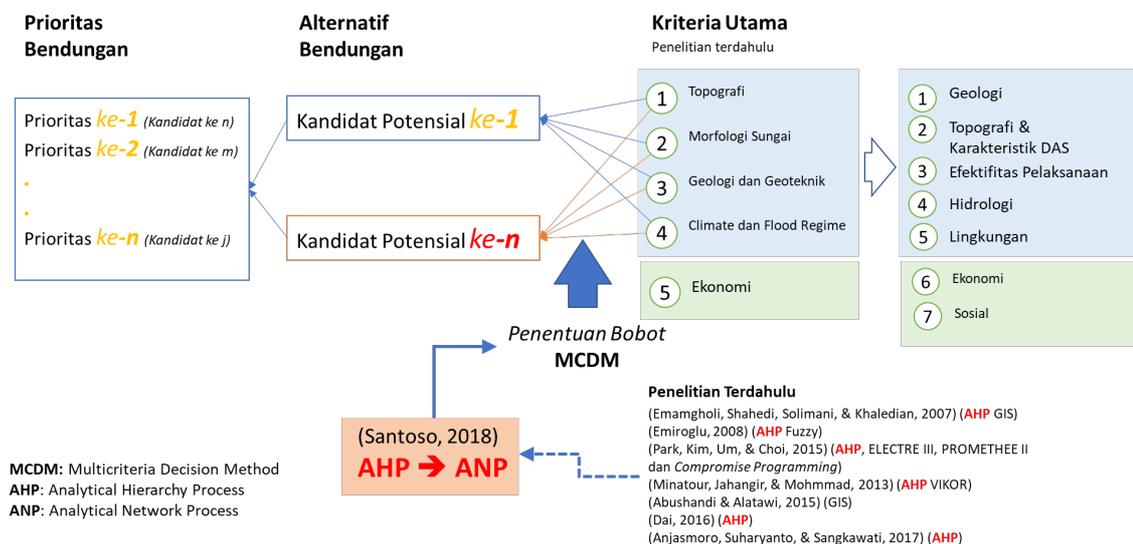
P_i merupakan prioritas global dari alternatif I , P_{ij} merupakan prioritas local berkaitan dengan kriteria j , dan w_j merupakan bobot dari kriteria j . Jika prioritas diketahui maka mode distributif ini merupakan pendekatan yang akan menerima prioritas ini.

Bila beberapa alternatif muncul dan jumlahnya bertambah, pembagi dari normalisasi juga berubah, yang berdampak pada perubahan skala dan kemungkinan terjadinya salah urutan ranking.

Untuk menghindari kesalahan ranking maka prioritas harus dinormalisasi, dengan membagi prioritas dengan pembagi yang sama di setiap konfigurasi dari permasalahan yang muncul pada mode ideal. Normalisasi dilakukan dengan membagi nilai dari setiap alternatif dengan nilai dari alternatif terbaik untuk setiap kriteria. Apabila pada sistem tertutup, mode terdistribusi harus digunakan, dan jika pada sistem terbuka dimana alternatif bisa ditambahkan maka mode ideal harus diterapkan (Ishizaka & Nemery, 2013).

2.5 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 Kerangka Berpikir Disertasi

Bahwa penelitian disertasi dilakukan dengan pendekatan *expert judgement* dengan cara melakukan penelusuran semua kriteria yang mungkin berpengaruh terhadap penentuan lokasi dan tipe bendungan. Menurut Becue et al. (2002) kriteria utama dalam menentukan prioritas pembangunan bendungan adalah topografi, morfologi sungai, geologi dan geoteknik, *climate* dan *flood regime*, serta ekonomi. Selanjutnya kriteria yang ada akan dipilih berdasarkan pertimbangan tertentu dan dilakukan pembobotan pada masing-masing kriteria oleh beberapa peneliti terdahulu ((Emamgholi et al., 2007); (Emiroglu, 2008); (Park et al., 2015); (Minatour et al., 2015)(Abushandi & Alatawi, 2015); (Dai, 2016); (Anjasmoro, Suharyanto, & Sangkawati, 2017)). Metode yang

digunakan para peneliti terdahulu untuk perhitungan bobot pengaruh kriteria adalah dengan menggunakan salah satu metode dalam MCDM yaitu AHP, dan ada beberapa peneliti yang menggabungkan dengan metode lain. Bobot hasil perhitungan MCDM kemudian akan digunakan untuk menentukan prioritas pembangunan bendungan dari beberapa kandidat yang ada.

Penelitian ini akan mencoba mengembangkan metode baru yang diharapkan cocok untuk diterapkan di Indonesia. Metode yang akan dipakai adalah metode yang masih dalam kelompok MCDM yaitu ANP. ANP dipilih karena ANP merupakan pengembangan dari metode AHP, harapannya penggunaan metode ini akan menghasilkan pembobotan kriteria teknis maupun non teknis dengan hasil akhir yang lebih baik.

2.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah serta penelusuran pustaka sebagaimana telah dikemukakan, maka dapat diturunkan beberapa hipotesis yaitu:

1. Perlu adanya sebuah model pengambilan keputusan dalam penentuan prioritas pembangunan bendungan di Indonesia di mana aplikasi model tersebut dapat diterapkan dan diaplikasikan dalam mengevaluasi bendungan yang sudah terbangun dan sebagai dasar dalam merencanakan bendungan baru.
2. Banyak kriteria yang digunakan dalam penentuan prioritas pembangunan bendungan, namun akan ada kriteria yang dominan yaitu pada kriteria teknis adalah geologi dan pada kriteria non teknis adalah sosial.